

桜島におけるラドン濃度の連続測定と解析

金柿 主税*¹, 木下 紀正*¹, 三仲 啓*¹
 角田 寿喜*², 田中 穰*², 根建 心具*³

(1993年10月15日 受理)

Continuous Measurement and Analysis of Radon Concentration at Sakurajima Volcano

Chikara KANAGAKI, Kisei KINOSHITA and Akira MINAKA

Physics Department, Faculty of Education, Kagoshima University

Toshiki KAKUTA and Minoru TANAKA

Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University

Munetomo NEDACHI

Department of Geology, College of Liberal Arts, Kagoshima University

Abstract

Continuous measurement of the air radon (^{222}Rn) concentration indoor at Arimura, Sakurajima Volcano, was carried out from February 1992 to July 1993. The correlations of the radon concentration fluctuating with the meteorological quantities, volcanic activities and other environmental data were studied. It was found that the radon concentration indoor was influenced by the atmospheric pressure and the air temperature.

Keywords: Radon concentration, Fumarolic gas, Meteorological elements, Volcanic activities, Earthquake and/or Eruption prediction.

1 はじめに

桜島は常時多量の噴煙と火山ガスを放出している。地下から供給される溶岩や火山灰には若干のウランなどの超重元素が存在しており、火口からの火山ガス中にラドンガスなどが含まれている可能性がある¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

*¹ 鹿児島大学教育学部物理学教室

*² 鹿児島大学理学部地学教室

*³ 鹿児島大学教養部地学教室

ラドンガスは不活性元素としてガス状で存在するが、一般に微粒子に付着しやすく、空気中に浮遊するエアロゾルによってカウント値も増加することが知られている。地表からのラドン逸出量の変化の原因は、降水による空隙率の減少、大気圧の変化、風速、風向、逆転層の高さとその有無、地中および大気中の温度勾配、降雨、降雪による地表面の被覆などが関係してくる⁵⁾⁶⁾。その他の原因としては、気団の違い、雪中での、またはエアロゾルによる捕捉、濃縮効果の違い、海上を通過する所要時間の違いなど多くの要因が考えられている。また、地震の前駆現象として地下水中のラドン濃度が減少することが報告されている⁷⁾。

筆者のグループでは、1992年2月から桜島有村及び教育学部内の二カ所において、半導体検出器を用いたラドン濃度の連続測定を行っている。有村での測定では1993年7月まで、教育学部内測定は1993年3月まで屋内での連続測定を行った。この稿では、上記の屋内におけるラドン濃度カウント値と、気象条件・桜島火山活動などについての各種の環境データとの比較を行った結果を報告する。半導体検出器と関連機器は岐阜大学のグループの援助によるものであり⁸⁾⁹⁾、遠隔測定システムについては、著者の一人が報告している¹⁰⁾。関連して、環境放射線と教育との関わりについては別稿で論じている¹¹⁾。

2 ラドン濃度測定と環境データ

2.1 方法

ラドン濃度連続測定システム⁹⁾¹⁰⁾を桜島有村の鹿児島大学理学部附属南西島弧地震火山観測所桜島観測点(1階建)屋内と教育学部理系棟(6階建、一部7階建)の6階室内の二ヶ所で組んでいる。ただし、桜島有村において検出センサーは2チャンネル、教育学部内では1チャンネルを使用し、二ヶ所とも環境センサーは未使用であった。このため、環境データについては2.2に述べる様に各種の外部データを参照した。ラドン濃度および各種環境データの測定地点を図1に示す。

このシステムで使用しているラドン濃度検出器は、ラドンをカウント値⁸⁾⁹⁾ CPM (Count Per Minute) で測定している。ラドン濃度への換算を行う場合、岐阜大学教育学部が行った実験結果をもとにすると、校正ファクター F は

$$F=0.1\pm 30\% (\text{count} * (10 \text{ min})^{-1}) / \text{Bq} * \text{m}^{-3}$$

である。たとえば10 (min) あたりの (RaA+RaC') のカウント数 N が1個/10 min とすると、ラドン濃度 Q は

$$Q=N/F=1/0.1=10 (\text{Bq} * \text{m}^{-3})$$

となる。ただし厳密には検出効率が湿度に依存するため、湿度が10%以下になると問題になるが、通常の測定条件ではこの F の値を用いることが出来る。

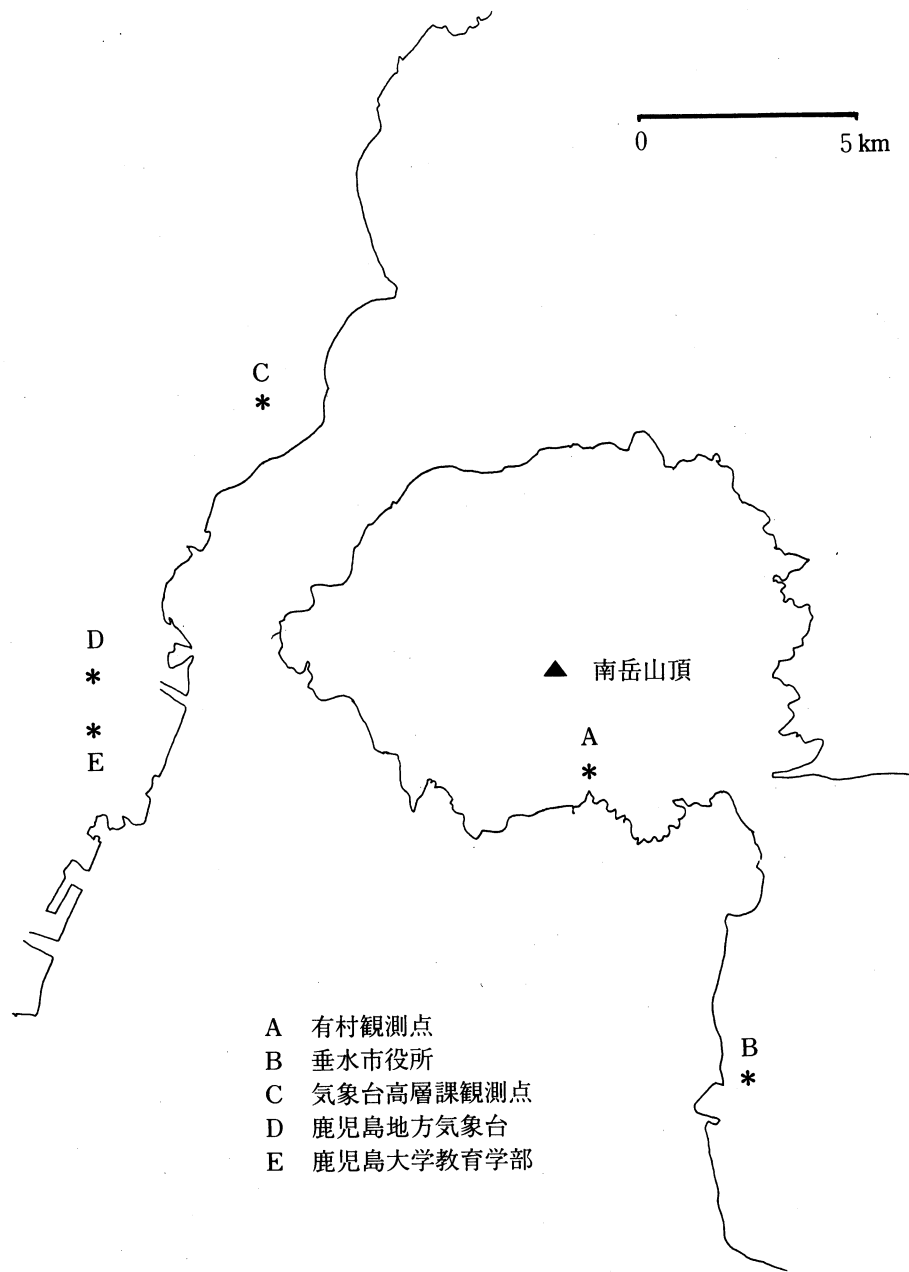


図1 桜島火山周辺の地図および観測点の位置

2.2 環境データ

環境データとして、気象など下記の各種観測データを用いた。

- (a) 鹿児島県気象月報 (鹿児島地方気象台) … 海拔 4 m の鹿児島市荒田の鹿児島地方気象台における気圧, 降水量, 降灰量, 天気概況
- (b) 気象 (気象協会月刊誌) … 天気図
- (c) 高層気象データ (鹿児島地方気象台高層課) … 気圧 (6 時間毎, 海拔 283 m の吉野での気圧)

表1 各種測定量と換算量の関係

記号 (単位)	測定間隔	補足説明	スケールの変更
CA_1 Ch (CPM)	1 h	桜島観測点 (有村) でのラドン濃度 1 チャンネル	
CA_2 Ch (CPM)	1 h	桜島観測点 (有村) でのラドン濃度 2 チャンネル	
CK (CPM)	1 h	教育学部内でのラドン濃度	
S (ppb)	1 h	桜島観測点 (有村) での二酸化硫黄濃度	$FS=S/10$
HP (hPa)	6 h	鹿児島市吉野 (283 m) における地表気圧	$FP=10*(1000-HP)$
P (hPa)	24 h	鹿児島地方気象台 (荒田) での平均気圧	$FP2=1040-P$
W (%)	24 h	鹿児島地方気象台 (荒田) での平均湿度	
t (°C)	24 h	鹿児島地方気象台 (荒田) での平均気温	$FT=10*t$
A (mm)	1 d	桜島有村での降雨量 (日界午前 9 時)	
D (g/m^2)	1 d	垂水市役所での降灰量 (日界午前 9 時)	$FD=0.18*D$
B (回)	不定期	桜島の爆発および噴火回数	$FB=10*B$
Z (回)	不定期	桜島の火山性群発地震回数	$FZ=Z/10$

(d) 月報 (項目 SO_2 ・鹿児島市環境保全課)…桜島有村の二酸化硫黄濃度 (1 時間毎)

(e) 定期火山情報 (鹿児島地方気象台)…桜島火山の爆発, 噴火, 地震

(f) 桜島降灰観測調査 (鹿児島県消防防災課)…垂水市役所における降灰量

(g) 有村における日雨量 (建設省大隅土木工事事務所)

グラフにおいて各種の測定値の関係を見やすくするために, 表 1 のようにスケールを変更した換算量を表示している。

なお, 各種の環境データについて, 次の点に留意した。

①気圧 気象月報 (平均気圧) および高層気象 (吉野気圧) データにおいて, 海拔高度による絶対値の違いと 24 時間おきと 6 時間おきの測定間隔の違いはあるが, 変動の様子が殆ど一致したため, 鹿児島市吉野町にある気象台高層気象課の地表面気圧データを使用した。この地点と桜島観測点および教育学部の場所の違いは, 気圧の変動に対しては無視できると考えられる。気圧の場合, 急激な変化は少ないため, 6 時間おきのデータを高度差による気圧補正はせず, 表 1 のスケール変更を行って比較検討に用いた。なお, 有村の観測点は海拔 89 m にあり, 教育学部理系棟 6 階は海拔 27 m である。

②降灰 建設省大隅土木工事事務所による有村降灰量のデータがあるが, 旬別毎であり, 詳細な変化が比較できない。そこで, 桜島南岳火口と有村を結ぶ延長線上に垂水市があるため, 1 日毎の垂水降灰量データ (f) を使用した。垂水で降灰があるとき, 有村にも噴煙・火山ガスの影響が十分考えられる。但し降灰量測定は午前 9 時を日界とし, 翌日の午前 9 時までをその日の降灰量としている。

③降雨 垂水降灰量測定の方法と同様に, 有村での雨量 (g) は午前9時を日界としている。なお, 気象台における日雨量は24時を日界としている。

④爆発と噴火 桜島の爆発と噴火の区別は, (e) では噴煙の上がり方・爆発音・空振などの違いによってなされているが, ここではまとめて利用した。

⑤地震 地震を扱うとき火山性微動を含む総地震回数は除外して, (e) の火山性群発地震回数を使用した。火山性微動を含む総地震回数は, 月間数千回もあり, 旬別毎のみのデータであるためである。短時間に数百回の火山性群発地震があるため, グラフ (1日毎) は目安とする。

3 結果と考察

ラドン濃度連続測定値および環境データの詳細は報告12) にまとめ, 1992年4, 8, 12月のラドン濃度と気圧・気温との関係について報告11) で議論した。ここでは, 代表的な部分として1992年2月と9月のデータを主に, 各種の環境データとの関連を総合的に検討する。

3.1 ラドンカウント値と気象条件との相関

(1) 気 圧

ラドン計測は30分毎 (桜島有村) および1時間毎 (教育学部内) であり, 高層課における気圧観測は6時間毎であるため, 時間変化の詳細な相関は検討出来ないが, 数日間を通してみると図2に見られるように, 有村カウント値 CA と換算気圧 FP との間には明らかに相関があり, 気圧が低いほどカウント値は増加している。

表2に挙げた日付には南九州地方に停滞前線があり, カウントと気圧の相関が失われている。数千メートル上空まで上下の対流が活発となり, ラドン濃度に影響を与えている可能性がある。大陸側からのラドン族を含んだ乾いた気団と太平洋側からのラドンを含まない湿った気団の衝突は, カウント値と気圧との相関を失わせると考えられる。

(2) 気 温

夏の期間は, 停滞前線の存在のためカウント値と気圧の相関が失われることが多く, そのときは殆ど気温変化に従う。他方, 冬の期間は, 気圧と気温は密接な関係にあり, これらにカウント値は影響されている。報告11) に述べたように, ラドンカウント値は気圧に強い相関があることが図2からも読み取れるが, 気圧の大局的な変化に伴う気温変化によって増減するとも考えられる。

台風や非常に発達した低気圧が南九州地方上空にあるときも, カウント値は減少することが多く, 気温が急に下がることの影響が大きいものと考えられる。

(3) 湿 度

検出器の一般的な性質として, 湿度とカウント値の間にはセンサー表面の被覆効果等により負の相関となることが知られている。使用した湿度データは, 鹿児島地方気象台におけるデータである。

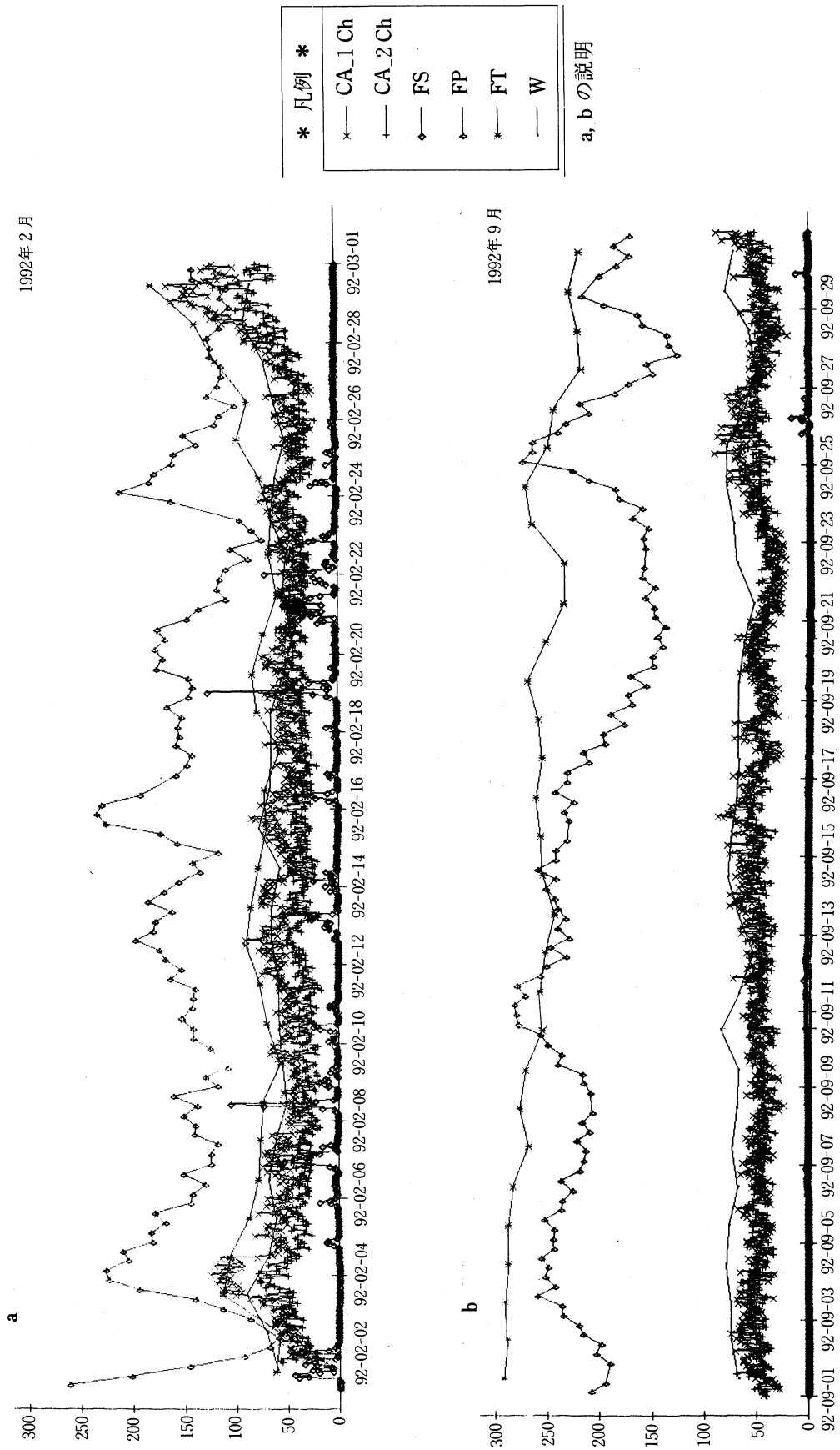


図2 ラドンカウンタ値と気象・桜島火山活動との相関

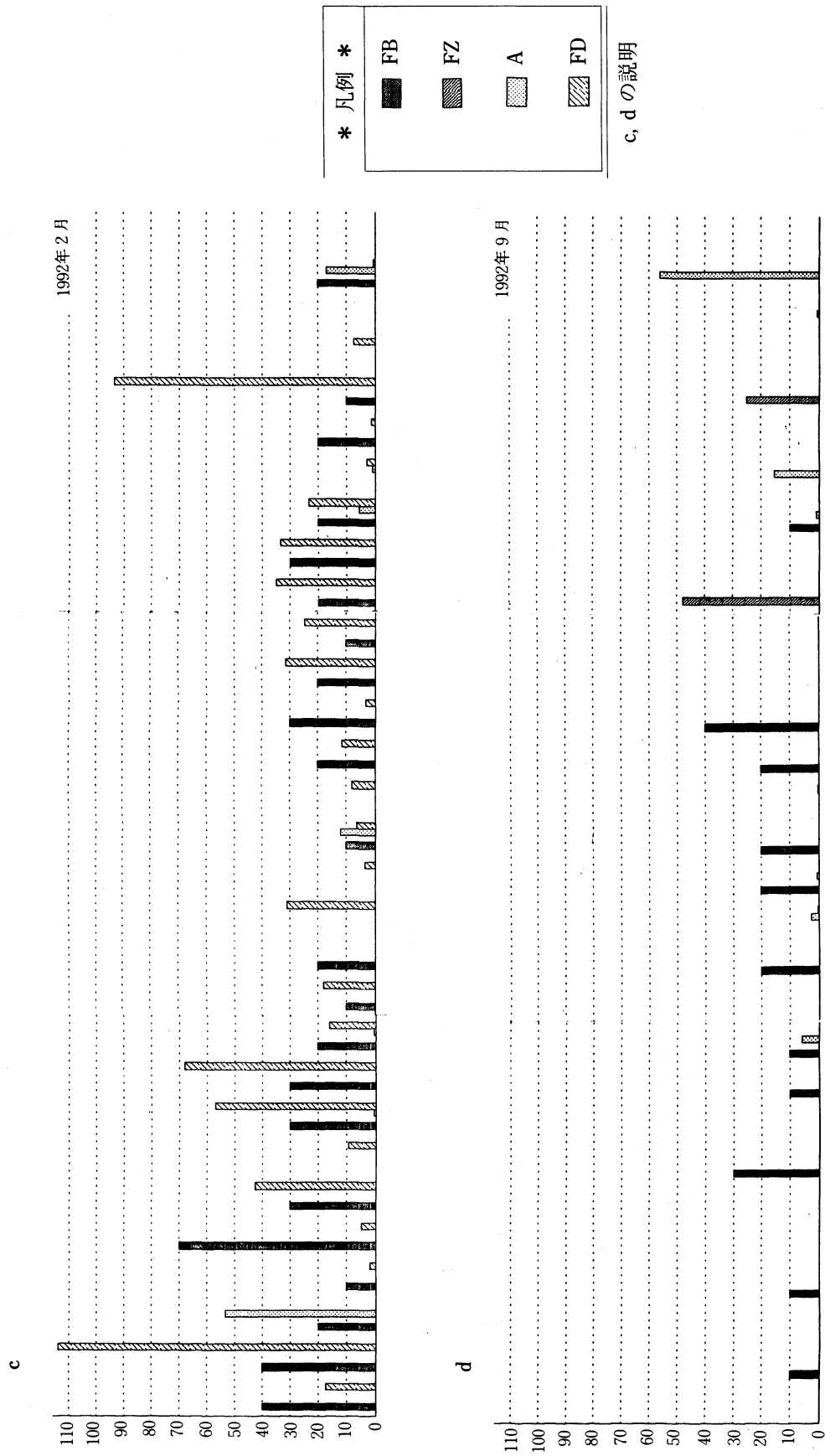


図2 ラドンカウント値と気象・桜島火山活動との相関 (続)

表2 停滞前線 (92.2/92.9)

- ・ 920204付近
- ・ 920212付近
- ・ 920229-920303

- ・ 920907-920911
- ・ 920916-920923
- ・ 920925-920926

表3 気圧移動と変化 (92.2/92.9)

- ・ 920201付近 L (東)
- ・ 920201-920203 H (西→東)
- ・ 920204付近 L (東)
- ・ 920204-920207 H (西→東)
- ・ 920210-920212 H (西)
- ・ 920210 L (西)
- ・ 920212-920214 L (鹿児島上空)
- ・ 920215-920216 L (西→東)
- ・ 920218-920221 L (南→東)
- ・ 920213-920225 L (南→東)
- ・ 920216付近 L (東)
- ・ 920219付近 H (西)
- ・ 920221付近 L (東), H (西)
- ・ 920224付近 L (東)

- ・ 920904 L (北東)
- ・ 920901-920905 T₁₅ (南→西)
- ・ 920908-920911 T₁₇ (南→東)
- ・ 920912-920915 T₁₈ (南→東)
- ・ 920919-920924 H (西→東)
- ・ 920920-920924 T₁₉ (南→西)
- ・ 920926付近 L (北東), H (西)
- ・ 920926-920927 T₂₀ (南→東)
- ・ 920930付近 H (西)

教育学部から桜島有村まで約 11.5 km, 鹿児島市荒田まで約 1 km 離れている位置にあり, また, 1 日平均湿度であるため詳細な時間変化の検討は出来なかったが, 図 2 のグラフでもかなりの相関があることが分かる。これは, 気圧の変化に伴い温度が変化し, その結果として湿度の変化となる可能性がある。

(4) 有村降水量

降水時には空気中に浮遊している霧や雨粒などの粒子によって, カウント値を増加させ, 雨滴自体にもラドン族が溶解するため, 落下中に大気中のラドン濃度を増加させる可能性がある。ここで問題となるのは, 降水量は気圧との関係が強く, 気圧が低くなったため雨が降り, カウント値を増加させることである。有村降水量 A は 1 日毎のデータであるため, 気圧の変化とは時間的なずれがある。降雨は気圧と強い相関があるため, 降雨独自のラドン濃度とのはっきりした関連性は不明である。

多量の降水があった場合には, 水滴や露等が地表面, 床, 壁などを覆うため, 逆にカウント値を減少させることも考えられる。また, 降水が桜島のラドンを含んだ岩石中に流れ込み, 数日後また流れ出す場合, カウント値を増加させる可能性がある。結果は, 降水があった後の数日間カウント値は急激な変動はなく, 気圧変動に従っていることが多い。屋内観測であるため, 降水量より気圧

および気温の影響が強いものと考えられる。

3.2 ラドンカウント値と桜島火山活動との相関

(1) 二酸化硫黄

桜島から出る噴煙及び火山ガスについて、トレーサーとして二酸化硫黄に着目する。幸い、桜島有村の桜島観測点の隣で大気汚染測定の一環として1981年から二酸化硫黄濃度の連続測定が行われている¹³⁾。

南九州の東側に低気圧 L や台風 T, または西側に高気圧 H があれば北風となりやすい。表3に示す日付はそのような場合であり、有村ラドンカウント値 CA が増加した後、二酸化硫黄濃度 S のピークが現れることが多い。但し、CA が増加しても、その後で二酸化硫黄濃度はそれほど増加しないこともある。CA は気圧との関わりが深く、冬型の天候の特徴として低気圧から天候が回復する過程において大局的に北風となり、桜島火口の南に位置する有村の二酸化硫黄濃度の上昇として現れることが考えられる。他方、夏の期間、台風などの影響を除外すると二酸化硫黄濃度はきわめて低い。

(2) 垂水降灰量

二酸化硫黄とは別に、桜島の噴煙のトレーサーとして降灰量に着目する。火山灰粒子は空気中に浮遊しカウント値を増加させ、また、脱ガスによって灰自体もラドンなどの放射性気体を放出する可能性もある。二酸化硫黄濃度 S と垂水降灰量 D の間には、数カ月間にわたって相関係数0.3~0.5の相関があった。しかし、ラドン濃度は屋内測定であり、降灰量は1日毎の観測であるため、垂水降灰量とラドン濃度との関連性は不明である。

(3) 爆発噴火・火山性地震と季節変化

有村カウント値と桜島の爆発および噴火のデータにおいて、爆発および噴火する数日前より、低気圧、気温一定の条件のもとで、ラドンカウント値を減少させることがあるが、そのときは停滞前線も存在しており、火山活動との関係ははっきりとは分らない。ラドン濃度の季節変化は、夏に増加して冬に減少することが報告されている⁵⁾⁶⁾。図3に、気象条件と有村カウント値、教育学部カウント値の1992年4月~1993年3月の旬平均の変化の様子を比較する。有村カウント値の場合は春から夏に増加して秋から冬に減少する傾向が見られる。他方、1992年の桜島爆発噴火回数は逆に夏の期間は穏やかな日が続いた。桜島火山性群発地震の前兆現象として、ラドンカウント値が減少するという現象は認められなかった。

図3から、ラドンカウント値が局地的な条件と大局的な気象条件とのどちらに影響されやすいかが判る。有村の方が教育学部内での観測に比較して絶対値でやや高く、変動の様子はほとんど一致している。これは、気象条件に影響されやすいこととともに、局地的な条件もかなり関与していると考えられる。特に、有村の観測点1階と教育学部理系棟6階での絶対値の違いにおいて、地表面から直接放出されるラドンの影響が問題である。但し、教育学部測定点では、1992年6月15日から

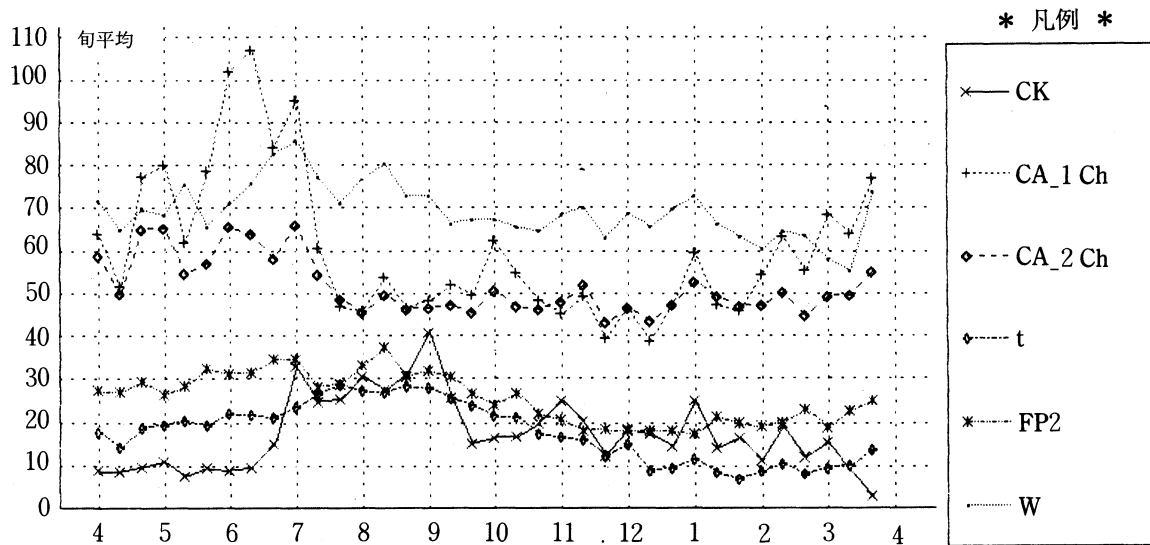


図3 ラドン濃度カウント値の旬別変化

密閉状態に近い室内に移動したため、カウント値の急増が見られる。

屋内測定であるが、両地点とも気象条件（気圧とそれに伴う気温変化など）の影響を確実に受けていることが分かった。

4 おわりに

これまでの桜島有村と教育学部での屋内測定では、ラドン濃度は気圧に影響され、その大局的な変化に伴う気温及び湿度の変化と相関があることが判った。他方、有村におけるラドン濃度の屋内データについては、二酸化硫黄をトレーサーとする火山ガスとの相関は殆ど見られず、桜島の爆発・噴火・火山性群発地震及び降灰との関連も不明である。

今後、屋内測定結果をもとに屋外での測定を準備しており、また、各種のセンサーを付加して環境データの同時測定を計画している。ラドン濃度変動は、気象条件・火山活動の他にも錦江湾内の潮の干満による地下水の水位変化の影響の可能性があり、それらの解析をあわせて行う予定である。

大気中のラドン濃度測定は大気汚染の状況や火山噴煙の成分解析などにも応用できる可能性があるが、地震予知および火山噴火予知には、地下水中のラドン濃度測定と併せて進める事が重要であろう。

[謝辞] ラドン検出器の提供など連続測定システムの導入に全面的に協力して頂いた田阪茂樹・佐々木嘉三両氏（岐阜大学教育学部）、地震予知研究において御指導ならびに情報を頂いた脇田宏氏（東京大学理学部）、データ処理等に多大な協力をされた今村和樹、藤本貴大両氏（鹿児島大学

教育学部理科学学生), 2.2 に述べた各種の環境データをころよく提供して頂いた各機関の関係各位に感謝致します。本研究は平成3・4年度の鹿児島大学教育研究学内特別経費によるものです。学長・大学当局の御理解と御援助に厚く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 鎌田政明, 本邦火山の噴気孔ガス中のラドンの分布, 日本化学雑誌, 82, 1346-1350, 1961.
- 2) 佐藤和郎・佐藤純, 降下軽石中のラジウム-ラドン非平衡から推定した桜島マグマの脱ガス量, 第3回桜島火山の集中総合観測, 110-111, 1980.
- 3) 佐藤和郎・佐藤純, 桜島降下軽石における ^{226}Ra - ^{222}Rn 非平衡を利用したマグマの脱ガス量の推定, 鹿児島県の地震と火山, 10, 120-124, 1977.
- 4) 小村和久・阪上正信・多田哲郎・山本政儀・内田賢吾・上野馨・坂元隼雄, 桜島地域の地表大気中の鉛-210およびポロニウム-210, 鹿児島国際火山会議, 1988.
下菌清香・四反田昭二・今村博香・福田大三郎, 鹿児島県における自然の空間放射線分布, 鹿児島県環境センター所報, 101-110, 1989.
- 5) 岡部茂 他・ラドン族調査研究委員会, 日本原子力学会, 大気中のラドン族と環境放射能, 1985.
- 6) 岡部茂 他・ラドン族調査研究委員会, 日本原子力学会, 続・大気中のラドン族と環境放射能, 1990.
- 7) 中谷正生・森俊哉・田辺清人・五十嵐丈二, 地下水中のラドン濃度異常と地震発生との関連性の統計的検討, 地震第2輯, 44, 335-343, 1991.
- 8) 佐々木俊哉・戸崎仁, 半導体検出器を用いた深地下におけるラドン族の観測, 岐阜大学教育学部卒業論文, 93, 1991.
- 9) 田阪茂樹・佐々木嘉三, 岐阜県神岡鉦山における地下水中のラドン濃度の観測 (1), 地震第2輯, 45, 1-9, 1992.
- 10) 三仲啓, 遠隔連続測定におけるパソコン通信の利用, 鹿児島大学教育学部研究紀要自然科学編, 44, 1-9, 1992.
- 11) 金柿主税・木下紀正・三仲啓, 環境放射線観測と教育, 鹿児島大学教育実践研究紀要, 特別号 1, 47-55, 1993.
- 12) 金柿主税, 環境中ラドンガスの測定と解析, 鹿児島大学教育学部卒業論文, 1993.
- 13) 鹿児島市公害対策課, 鹿児島市の環境, 1991;
同, 有村における SO_2 一時間値90.4-93.5.